



УДК 519.6

**ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ГИДРОДИНАМИКИ РЕАКТОРА СЕРООЧИСТКИ
СИНТЕЗ-ГАЗА****NUMERICAL INVESTIGATION OF
HYDRODYNAMICS OF A REACTOR OF
SYNTHESIS GAS**

Киктев Евгений Константинович, магистрант каф. «Теплоэнергетика и теплотехника», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: 89995683221@mail.com, Тел.: +7 (999) 568-32-21

Каграманов Юрий Александрович, аспирант каф. «Теплоэнергетика и теплотехника», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: KagramanovYA@yandex.ru

Тупоногов Владимир Геннадьевич, д-р. техн. наук, профессор каф. «Электромеханика», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: v.g.tuponogov@urfu.ru

Evgeniy K. Kiktev, Master student, Department «Elektromechanika», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: 89995683221@mail.ru. Ph.: +7(999)568-32-21

Yuriy A. Kagramanov, Graduate student, Department «Elektromechanika», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: KagramanovYA@yandex.ru

Vladimir G. Tuponogov, Doctor Sc., Prof., Department «Elektromechanika», Ural Federal University named after the first President of Russia B.N.Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: v.g.tuponogov@urfu.ru

Аннотация: Создана математическая модель системы горячей сероочистки синтез газа. Экспериментально определены кинетические константы процесса восстановления окиси цинка углем и процесса поглощения сероводорода оксидом цинка. Проведен расчет системы горячей сероочистки синтез газа с поточным реактором. Объединение теплового, химического и гидродинамического расчета является моделированием системы сероочистки, который позволит спрогнозировать возможные потери сорбента в ходе эксплуатации, определить оптимальные рабочие температуры, состав газа на выходе. Результатом моделирования оказался результирующий поток, поэтому для сравнения экспериментальных и расчетных данных опытные расходы восходящих и нисходящих потоков были приведены к результирующим. А также с учетом габаритных размеров подъемной шахты опытные удельные результирующие потоки твердой фазы были приведены к абсолютным.

Abstract: A mathematical model of a hot desulphurization system for gas synthesis has been created. The kinetic constants of the process of reduction of zinc oxide by charcoal and the process of hydrogen sulphide absorption by zinc oxide are determined experimentally. The calculation of a hot desulphurization system for the synthesis of gas with a stream reactor was carried out. The combination of thermal, chemical and hydrodynamic calculations is a simulation of a desulphurization system that will predict possible losses of the sorbent during operation, determine the optimum operating temperatures, and the composition of the gas at the outlet. The result of the simulation was the resultant flow, so to compare the experimental and calculated data, the experimental costs of the ascending and descending flows were reduced to the resultant ones. Also taking into account the overall dimensions of the lifting shaft, the experimental specific resultant flows of the solid phase were reduced to absolute.

Ключевые слова: математическая модель, сероочистка, синтез-газ, кинетические константы, оксид цинка.

Key words: mathematical model, desulphurization, synthesis gas, kinetic constants, zinc oxide

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе проводилось численное исследование гидродинамики системы

сероочистки, рабочим телом которой является синтез газ, получаемый путем газификации углей.

Моделирование системы сероочистки заключается в объединении гидродинамического, химического и теплового расчета в одну расчетную систему.

Гидродинамический расчет описывает поведение многофазного потока состоящего из газа и твердых частиц размером менее 1 мм. Для обеих фаз записывается система уравнений движения (уравнение неразрывности и уравнение Навье-Стокса). Уравнение Навье-Стокса для твердой фазы дополнено тензором внутреннего трения, описываемым формулой Гидаспова [1]. Расчет гидродинамических эффектов был рассчитан в программе Ansys Fluent [2]. Скорости фаз, объемные доли твердой фазы, давления потоков влияют на особенности массообмена системы.

Химический расчет включает в себя термодинамический анализ реакций, проходящих в реакторе, результатами которого являются зависимости энергии Гиббса, константы равновесия и степени завершенности реакции от температуры [3, 4]. Химический расчет так же включает в себя кинетическую модель взаимодействия сорбента с компонентами синтез газа.

Тепловой расчет определяет температуру в реакционной зоне исходя из параметров входных потоков и теплового потока от экзотермических и эндотермических реакций.

Расчет системы сероочистки позволит спрогнозировать возможные потери сорбента в ходе эксплуатации, определить оптимальные рабочие температуры, состав газа на выходе.

ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА

Принципиальная схема системы горячей сероочистки с регенератором сорбента представлена на Рис. 1.

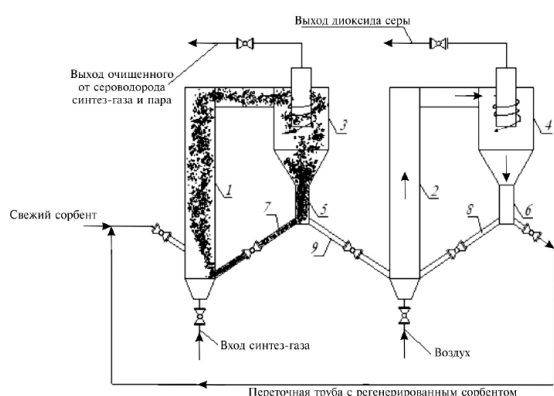


Рис. 1. Принципиальная схема ГССО

1 – подъемная шахта реактора, 2 – подъемная шахта регенератора, 3, 4 – циклоны реактора и регенератора, 7, 8, 9 – переточные трубы.

Температура в реакторе 650 °С, температура в регенераторе 750 °С.

РАСЧЕТ РАБОЧЕГО ТЕЛА СИСТЕМЫ СЕРООЧИСТКИ

Целью данного расчета являлось определение состава синтез газа на выходе из газификатора в программах Ternoflow, Aspen Plus и в авторском коде. Общие параметры режима газификации приведены в Таблице 1.

ПАРАМЕТРЫ И РАЗМЕРЫ ШРИФТОВ

Требуемые параметры и размеры шрифтов приведены в таблице 1. Избегайте использования подстрочных и надстрочных индексов вне формул.

Таблица 1.

Параметр	Ед. изм.	Значение
1	2	3
Расход угля	Кг/с	45
Температура синтез газа после первой ступени	С	1800
Температура синтез газа после второй ступени	С	1100
Давление в газификаторе	МПа	3,0
Потери тепла через изоляцию	%	2
Приведенный расход пара	Кг пара/кг угля	0-0,05
1	2	3
Температура воздушного дутья	С	900
Температура впрыска пара	С	590

Параметры угля приведены в Таблице 2.

Таблица 2.

Параметр	Ед. изм.	значение
Низшая теплота сгорания	МДж/кг	20,72
влажа	%	7
зола		21,92
углерод		53,68
водород		4,03
Азот		1,28
сера		0,39
кислород		11,7

Состав синтез газа приведен в Таблице 3

Таблица 3.

№	Параметр	Ед. изм.	Thermoflow	Aspen Plus	Код автора
1	CO	Об. %	27,58	29,40	32.43
2	H2		13,41	15,90	16.10
3	N2		53,85	48,30	45.53
4	CO2		2,52	2,78	1.61
5	H2O		2,56	3,07	4.17
6	CH4		0,08	0,08	0.048
7	H2S		0,034	0,044	0,088
8	C		0	0	0,00024
9	LHV		4,51	4,59	5.84

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОТОЧНОГО РЕАКТОРА

Результаты моделирования гидродинамики поточного реактора сравнивались с эксплуатационными параметрами реактора ВТИ [5].

Схема реактора представлена на Рис. 2

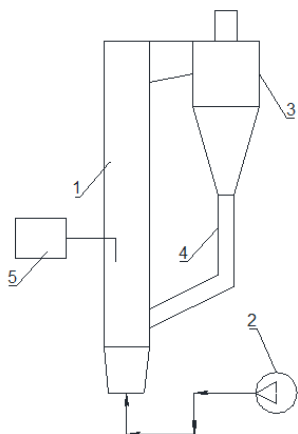


Рис. 2. Принципиальная схема реактора
1 – подъемная шахта, 2 – воздуходувка, 3 – циклон, 4 – опускной стояк, 5 – заборное устройство

В ходе экспериментов замерялись восходящие и нисходящие потоки твердой фазы в разных точках сечений подъемной шахты при помощи заборного устройства 5.

Параметры стенда представлены в Таблице 4

Таблица 4.

Наименование	Ед. изм.	Значение
Высота подъемной шахты	м	5,1
Длина шахты	м	0,3
Ширина шахты	м	0,2
Скорость воздуха в шахте	м/с	4
Масса насыпного слоя	кг	185
Размер частиц	мм	0,3
Насыпная плотность	кг/куб.м	1300

Экспериментальные данные по удельным расходам восходящего и нисходящего потока при разном удалении от стенки подъемной шахты представлены на Рис. 3. Ромбами обозначены расходы восходящего потока, квадратами – расходы нисходящего потока

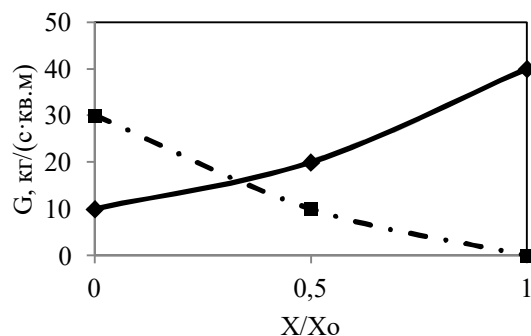


Рис. 3. Экспериментальные данные по удельным расходам восходящего и нисходящего потока при разном удалении от стенки подъемной шахты

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ПОТОЧНОГО РЕАКТОРА

Градиенты скоростей твердой фазы по вертикальной оси представлены на рис. 4, рис. 5, рис. 6.

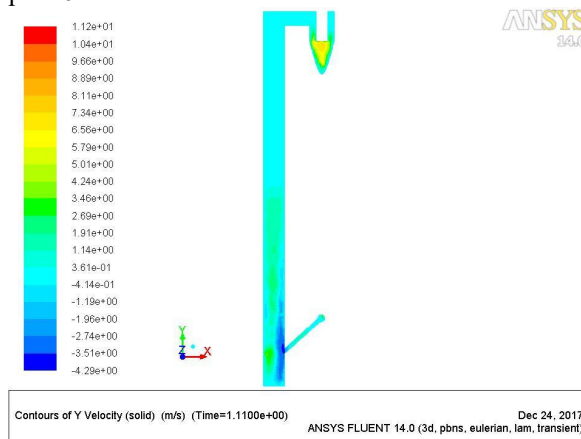


Рис. 4

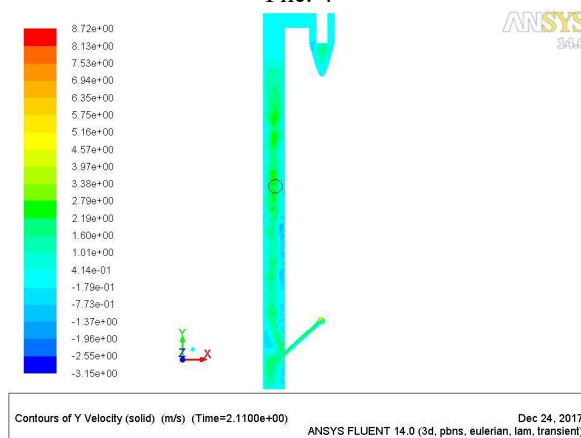


Рис. 5

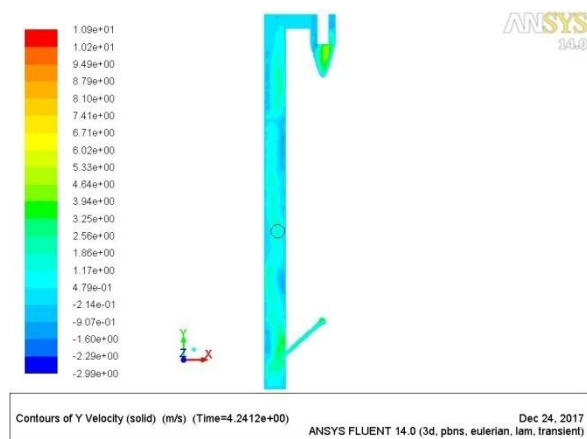


Рис. 6

Поле скоростей в подъемной шахте представлено на Рис. 7

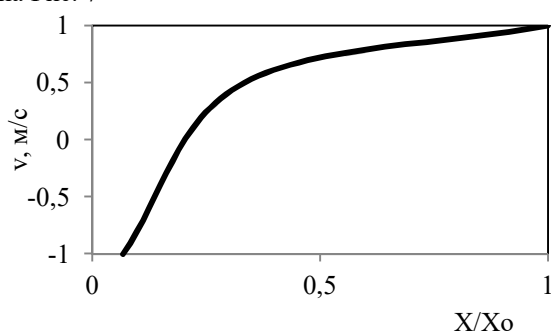


Рис. 7

Распределение объемной доли твердой фазы по ширине подъемной шахты приведено на рис. 8

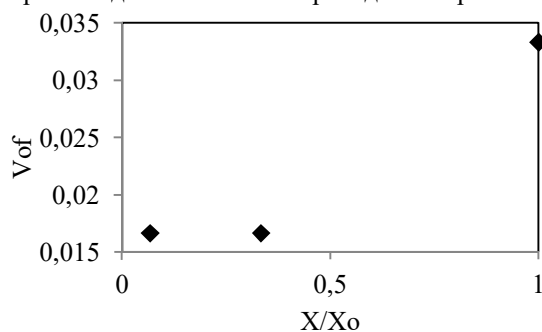


Рис. 8

В ходе расчетов был определен результирующий поток, поэтому для сравнения экспериментальных и расчетных данных опытные расходы восходящих и нисходящих потоков были приведены к результирующим. А также с учетом габаритных размеров подъемной шахты опытные

удельные результирующие потоки твердой фазы были приведены к абсолютным, что видно на рис. 9.

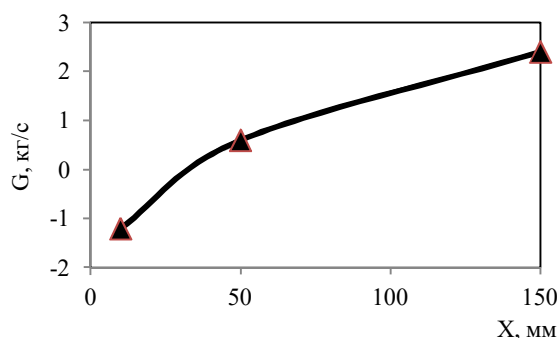


Рис. 9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы была составлена и верифицирована на крупном стенде реактора с ЦКС модель гидродинамики реактора горячей сухой сероочистки синтез газа. В настоящее время проводятся эксперименты по определению кинетических характеристик процессов взаимодействия сорбента с компонентами синтез газа, по завершении которых модель гидродинамики будет объединена с термохимическим расчетом реактора сероочистки.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 ANSYS Inc. Ansys Fluent User's Guide. Ansys, 2009.
- 2 Gidaspow D. Multiphase flow and fluidization : continuum and kinetic theory descriptions. Boston: Academic Press, Inc., 1994.
- 3 Есин О.А., Гельд П.В. Физическая химия пирометаллургических процессов. М.: Metallurgizdat, 1950.
- 4 Зимон А.Д. Физическая химия. М.: АГАР, 2003.
- 5 Рябов Г.А., Фоломеев О.М., Санкин Д.А., Мельников Д.А. Исследование граничных режимов движения твёрдых материалов в циркуляционных контурах применительно // Теплоэнергетика, Vol. №11, 2014. pp. С. 36 – 45.